

カラマツ L V L の水に対する性質 (第 2 報)

- 吸・放湿と寸度変化 -

北村 維朗 真田 康弘^{*1}
森 泉 周^{*2}

Moisture Concerning Properties of Karamatsu L V L ()

- Dimensional changes in moisture absorption and loss -

Tadao KITAMURA Yasuhiro SANADA
Shu MORIIZUMI

Some specimens of laminated veneer lumber (L V L) composed of Karamatsu (Japanese larch) sapwood or heartwood were tested for their moisture absorbing and emitting behaviors as well as for their dimensional changes in thickness and width under different hygroscopic conditions . It was recognized that there were five constants characterizing the whole aspect of the moisture absorption and loss . They were (1) the initial absorbing or losing rate (R_o) , (2) the decreasing constant of the absorbing or losing rate (K) , (3) the critical moisture content (W_c) , (4) the stationary absorbing or losing rate (R_c) , and (5) the equilibrium moisture content (W_e) . (K) was found to be constant under a certain hygroscopic condition . The dimensional expansion rate for one percent increase in moisture content was approximately 20 percent greater in thickness than in width with the sapwood L V L , while it was about 15 percent smaller in thickness than in width with the heartwood L V L . Little difference was observed in width expansion between the sapwood and the heartwood L V L . The shrinkage rate tended to be larger in width dimension , though smaller in thickness , than the expansion rate . The tendency was more remarkable in the heartwood L V L than in the sapwood . The quantity of moisture absorption or loss tended to become greater when absorption and drying alternated , but the quantity was recognized to remain unchanged in the expansion and the shrinkage caused by a unit moisture change .

辺材単板のみと心材単板のみで構成したカラマツ L V L の吸・放湿挙動と、それに伴う寸度の動きを追跡した。

吸・放湿速度を試料の含水率状態に対してプロットすると、一定の勾配をもって速度が低下する領域と、一定の速度で推移する領域の2つに区分されることが明らかとなった。このことによつて L V L の吸・放湿挙動は初期速度 (R_o) , 減率速度定数 (K) , 臨界含水率 (W_c) , 恒率速度

*第 1 報 (林産試験場月報 1984年4月号 No.387) の英文タイトル 「 The Hygroscopicity and Water - Absorption of Japanese Larch L V L 」 を当標題に改題する。

(Rc), 平衡含水率(We), の5個の定数によって推定が可能であることが分かった。

この外この試験で明らかとなったことは;

-) 減率速度定数(K)は試料が同一の温湿度環境に置かれるならば, 試料の別によらず一定の値を示す。
-) 吸湿水分1%当たりの寸度増加率(平均膨張率)は辺材LVLでは積層方向(半径方向)の方が板目幅方向(接線方向)より20%ほど大きく, 心材LVLでは積層方向は板目幅方向より15%ほど小さい。板目幅方向の平均膨張率は心材と辺材で大きな差はない。
-) 放湿による平均収縮率は板目幅方向では平均膨張率より大きくなり, 積層方向では平均膨張率より小さくなる。この傾向は辺材LVLにおいて特に強く現れる。
-) 吸湿と放湿を繰り返した場合, 吸・放湿水分量は次第に拡大し, 収縮量, 膨張量も次第に拡大するが, 単位量の吸・放湿水分が与える膨張・収縮量には拡大は認められない。

1. 研究の目的

北海道立林産試験場では1981年にカラマツ間伐材を利用する, 新システムによるLVL(単板積層材)を発売したが, 以来, 多方面にわたる実証化試験によって実用性能の点検を行ってきた。

これらの試験の中で, 「水分」とのかかわりによって生ずるいくつかの現象が, しばしば実用上の障害となり得ることが指摘された。この種の現象は, 窓枠材料等, 直接外部気象の影響にさらされる用途ばかりではなく, ちゅうぼう家具や, 場合によっては一般の室内用家具・内装材料に至るまで, その実用例の中に発見された。

しかしながらLVLは一般素(木)材に比して, 極めて均質性が高く, バラツキが小さいという, 産業資材としては極めて有利な長所を有している。たとえば, LVLが素材に比して, 高い吸湿膨張性を持っていたとしても, その性質が十分に把握され, その膨張量が計算によって予測可能ならば, 設計, 施工にあたっては, 予測される膨張量で補正すれば良く, 資材としての評価を^{おぼろ}げめるものではない。LVLが均質性が高いということから, 吸・脱湿に伴う現象も一定の法則性を持ち, 比較的バラツキが少ないことが予想される。筆者らは, これらの法則性を把握し, 適切な対処技術を開発することを目的として, 一連の実験を進めている。

2. 試料LVL

北海道立林産試験場のLVL装置により, 以下の製造条件で辺材部, 心材部を別々にLVL化した。

原木; 造林カラマツ 末口径16~20cm(美瑛産)

単板; 歩出し厚 4mm

接着剤; フェノール変性レゾルシノール

接着剤塗布量; 18g/900cm² 片面塗布

圧縮圧; 14kgf/cm²

高周波条件; 積層厚10cmにつき陽極電流1A 7分
間加熱

以上の条件で製造されたLVL(12プライ, 幅45cm, 長さ3.65m)から40mm(R)×40mm(T)×315mm(L)の角柱状の試験片を切り採った。それらのうちから心材, 辺材各1片づつを室内条件での吸・放湿試験用に利用した。

3. 試験方法

辺材, 心材各1片のLVLは, 最初20, 85%R.H.の恒温恒湿室中で84日間調湿し, 逐日, 吸湿による重量増加と, 接線(板目幅)方向と半径(積層厚)方向の寸度変化を記録した。その後, 20-65%R.H.の恒温恒湿室と, 次いで温湿度調整のない研究室 indoorでの放湿経過, さらに再び20-85%R.H.での再吸湿経過での重量および寸度変化を記録したのち, 20, 85%R.H.の恒温恒湿室に1カ月放置と温湿度調整のない実験室に1カ月放置との間を繰り返し, 乾湿繰り返しによる不可逆性の膨張・収縮量の変化を観察した。重量は1/100gの上皿電子天秤で, 寸度は精度3/100mmの電子デジタルノギスを用いて測定した。寸度は角柱状試験片の中央部と両端部の3個所で, 標線に沿って測定した。試験片の初期含水率は同

ロットの別個のLVL片の測定結果から約8%と推定される。

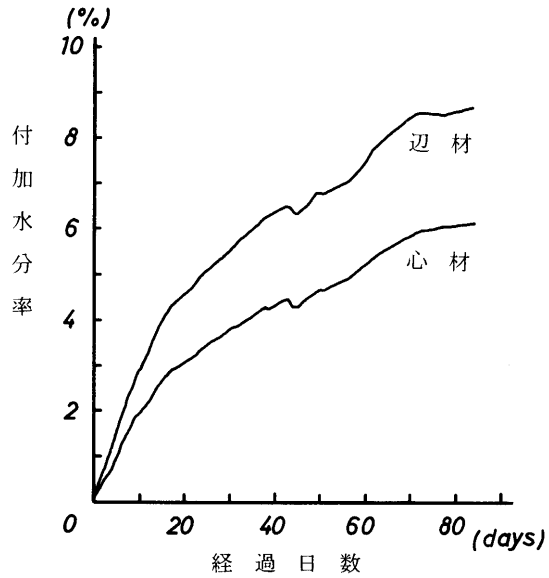
4. 結果と考察

4.1. 吸湿速度曲線

辺材および心材のカラマツLVL試験片(40mm×40mm×315mm, 推定含水率8%)を工場内環境から20, 85% R.H.の恒温恒湿室に移し, 時間の経過による水分の付加状態を観察すると第1図の如き経過を示した。付加水分の値は恒温恒湿室に入れる前の重量を基準にパーセントで示す。工場内環境でのLVLの含水率は, 同じロットの別のLVL片の測定値から心材, 辺材ともに約8%と推定される。したがって付加水分からその時の含水率は次式によって求めることができる。

$$\text{含水率} = 1.08 \times [\text{付加水分}] + 8 \dots\dots\dots$$

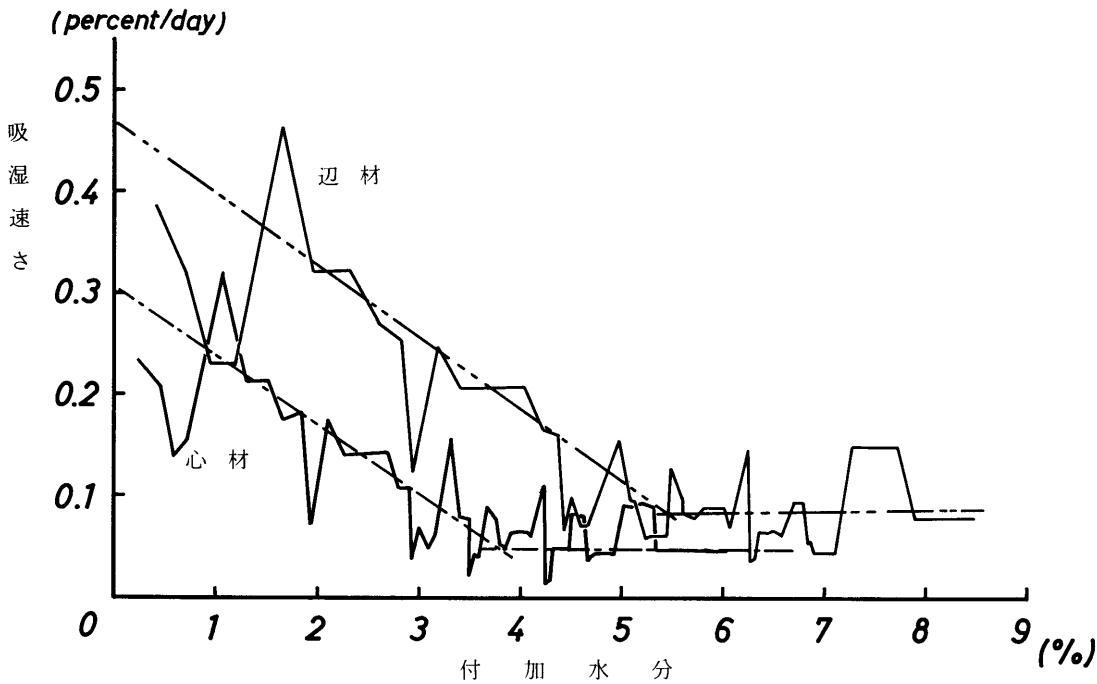
80日を経過しても, 辺材, 心材の付加水分率は8.5%と6.0%で, 対応する含水率は17.2%と14.5%とな



第1図 カラマツLVLの20 - 85% R.H.での吸湿経過

り, 20, 85% R.H.での木材の平衡含水率とされている18%に達していない。

吸湿各時点での吸湿速度(パーセント/日)を付加水分率に対してプロットすると第2図が得られる。温



第2図 20 - 85% R.H.における吸湿速度(パーセント/日)

湿度コントロールが厳密でないのでバラツキは大きい
が、明らかに2つの直線領域に区分される。

このような取扱いは「乾燥」の研究で常法的に行わ
れており、一定の乾燥速度を示す領域を恒率乾燥域、
一定の傾斜をもって速度が低下して行く領域を減率乾
燥域と呼んでいる。当然「乾燥」の場合は恒率乾燥か
ら始まり、ある臨界含水率から減率乾燥が始まり、平
衡含水率で速度はゼロになる。

「吸湿」の場合にも全く同様な状況が逆の順で生起
すると考えられる。すなわち、高湿環境に置かれた試
料片はただちに吸湿を開始するが、その速度は順次低
下し、一定の臨界含水率からは、極めて遅い一定の速
度を保って吸湿を続ける。最終的には平衡含水率で吸
湿を停止するはずであり、したがって、平衡含水率付近
でさらに1つの領域が加わるはずであるが、この領域で
の吸湿速度は極めて小さい上に、温湿度条件を正確に
一定に保つことが困難なので確認はできない。この状
況を模式的に図示すると第3図のように表される。

乾燥理論を借りて、この現象を推定すると、はじめ
の減率吸湿域では、高湿空気に接して生じた高含水率
の表面と内部との間によって生じた含水率勾配によっ
て、水分は内部に移動して行くが、時間の経過とともに
、含水率勾配が小となるので水分の内部拡散の速度
は減少して行き、付加水分の増加速度は減率的に低下
していく。一定の含水率(臨界含水率; W_c)に至って
内部拡散の速度が十分に遅くなり、表水の水分獲得速
度と均衡を保つようになる。この段階が恒率吸湿段階
であり、周辺空気の温湿度条件で決定される平衡含水
率に達する付近まで、この状態で吸湿が続けられるも

のと思われる。

このようにLVL試料の吸湿速度が減率、恒率の2
つの過程に分けて考えられるとすると、

$$\text{減率吸湿過程} \quad dw/d\theta = KW + R_o \dots\dots\dots$$

$$\text{恒率吸湿過程} \quad dw/d\theta = R_c \dots\dots\dots$$

で表され、含水率 W から臨界含水率 W_c を経て、平
衡含水率 W_e に達する時間 θ は以下によって求めるこ
とができる。

$$\theta = \ell_n \left(\frac{KW_c + R_o}{KW + R_o} \right)^{\frac{1}{K}} + \frac{1}{R_c} (W_e - W_c) \dots\dots\dots \text{④}$$

また、 K ; 減率係数

R_o ; 含水率ゼロにおける吸湿速度

R_c ; 恒率吸湿速度

W_c ; 臨界含水率

式は材料の吸湿特性を特定する上で有益な指標と
なり得ると考えられる。

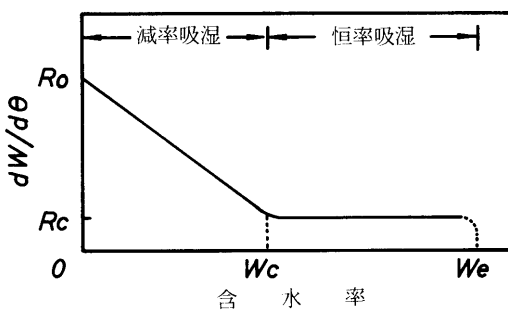
第2図に示す、20 - 85% R.H. における試験結
果から求められる上述の各特性定数は第1表のとおり
である。なお、実験は含水率によらず、調湿前の試料
重量を基準とする付加水分率に対して得られたもので
あるから、式によって含水率に換算してある。 K
(減率係数)は辺材と心材で一致しており、材料によ
らず20 - 85% R.H. の温湿度条件によって決定さ
れる定数と見られる。

R_c (恒率吸湿速度)は乾燥理論¹⁾によると、

$$R_c = \frac{dw}{d\theta} = \frac{h_c A (t - t_w)}{M \lambda_w} \dots\dots\dots \text{⑤}$$

第1表 20 - 85% R.H. の吸湿特性値

	辺材LVL	心材LVL
K (day ⁻¹)	-7.0×10^{-2}	-7.0×10^{-2}
R_o (percent/day)	1.07	0.89
R_c (percent/day)	0.09	0.05
W_c (percent)	13.89	12.10



第3図 吸湿速度曲線の模式図

で決定され、対流伝熱係数(h_c)、固体の表面積(A)、乾球、湿球温度差($t - t_w$)、蒸気潜熱(w)、固体質量(M)に支配される。乙のうち($t - t_w$)、 w は温湿度条件で決定されるから、辺材と心材の差は、 $h_c A / M$ 、つまり両試料の有効比表面積の差として扱えられ、得られた実験値からは、辺材LVLは心材LVLの1.8(=0.09/0.05)倍の有効比表面積を持つことが推定される。

第1表の諸定数と式によって、20 - 85% R.H.

第2表 20 - 65% R.H.における放湿特性値

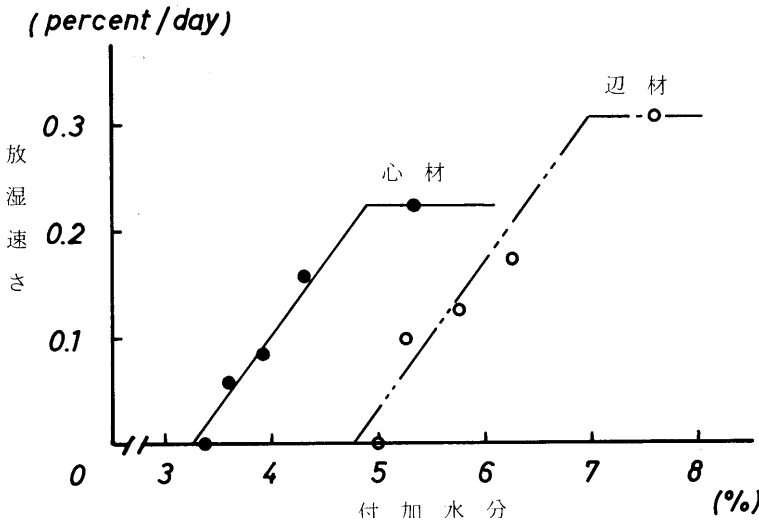
	辺材LVL	心材LVL
K (day ⁻¹)	1.3×10^{-1}	1.3×10^{-1}
R _c (percent/day)	0.33	0.25
W _c (percent)	15.56	13.29
W _e (percent)	13.13	11.51

条件下で、含水率8%のカラマツLVLが平衡含水率18%に達する日数を計算してみると、辺材LVLは69日、心材LVLは147日という値がえられる。

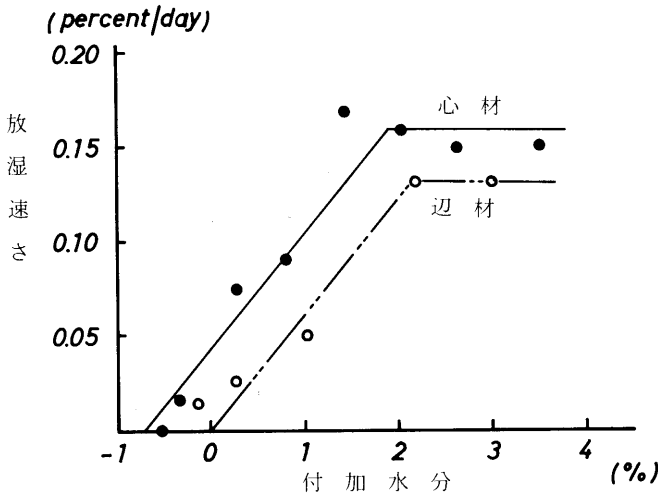
4.2 放湿速度曲線

20 - 85% R.H.で吸湿試験を行ったあと、両試料は20 - 65% R.H.の恒温恒湿宅に移し、放湿状況を観察した。吸湿の場合と同様、放湿速度曲線(第4図)を作成し、K(減率係数)、R_c(恒率放湿速度)、W_c(臨界含水率)、W_e(平衡含水率)を決定した(第2表)。

続いて両試料は、温湿度調整のない実験室南向窓際に移し、同様に放湿経過を観察した。第5図に見るように、こ



第4図 20 - 65% R.H.での再吸湿の吸湿速度曲線



第5図 温・湿度無調整の室内での放湿速度曲線 (昼間の平均室温24.7 湿度46% R.H.)

の場合でも2本の直線領域による放湿速度曲線を得ることができた。これによる放湿諸定数は第3表のとおりであった。

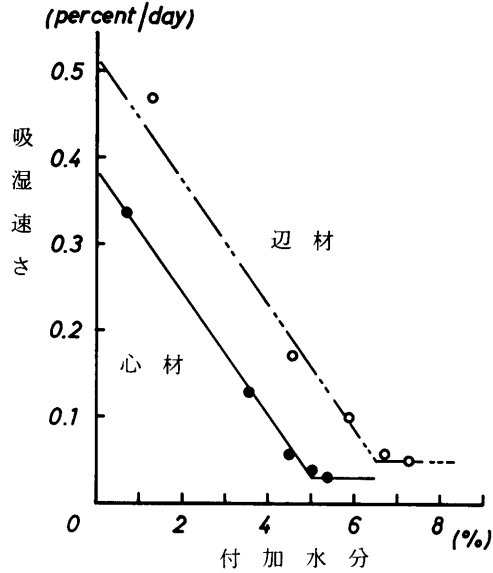
20 - 65% R.H.の場合も、温湿度無調整の場合も、減率係数(K)は辺材、心材が同じ値を示すと見られ、この定数は試料によらず、温湿度条件によって決定されるものと思われる。しかし、恒率放湿速度(R_c)の辺材と心材の大小関係が20 - 65% R.H.の場合と温湿度無調整の場合で逆転していること、平衡含水率(W_e)が辺材と心材で異なる値を示していること等、現時点では説明が付け難く、より細かい測定間隔による実験と、これらの物性値

第3表 温湿度無調整の室内における放湿特性値
(昼間の平均室温 24.7 , 湿度 46% R.H.)

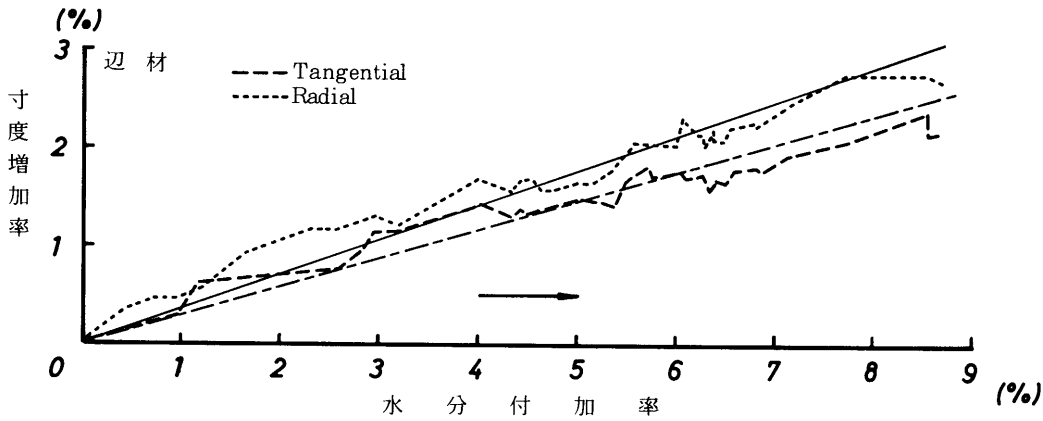
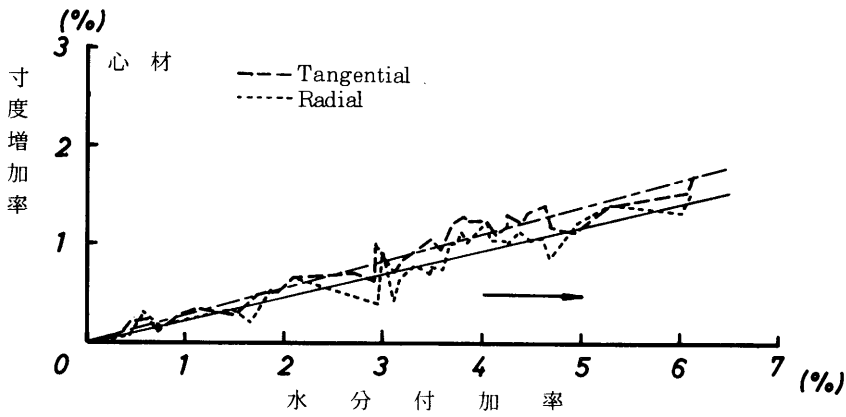
	辺材LVL	心材LVL
K (day ⁻¹)	6.1×10^{-2}	6.1×10^{-2}
R _c (percent/day)	0.14	0.17
W _c (percent)	10.32	10.75
W _e (percent)	8.00	7.24

第4表 20 - 85% R.H.での再吸湿における吸湿特性値

	辺材LVL	心材LVL
K (day ⁻¹)	-7.0×10^{-2}	-7.0×10^{-2}
R _o (percent/day)	1.12	0.98
R _c (percent/day)	0.05	0.03
W _c (percent)	15.02	13.40



第6図 20 - 85% R.H.での再吸湿の吸湿速度曲線



第7図 カラマツLVL水分付加率と寸度増加率
(吸湿過程 20 - 85% R.H.)

のパラッキ範囲を求める実験が必要と思われる。

4.3 再吸湿の速度曲線

十分に放湿した試料は再び20 -85% R . H . の恒温恒湿室に移し、再吸湿における吸湿速度曲線を得て、最初の吸湿の場合と比較した (第6図)。

第4表に示すように、減率係数 (K) は、最初の吸湿の場合とほとんど変わらない。初期吸湿速度 (Ro) , 臨界含水率 (Wc) は最初の吸湿の場合よりわずかに

大きくなっており、一たん放湿過程を経ることによって、少なくとも、減率過程の吸湿性は増加することが示唆される。恒率吸湿速度 (Rc) は、初めの吸湿に比べて減少しているが、この領域での測定点数が少なく、この傾向については明確にし難い。

4.4 吸・放湿による寸度変化

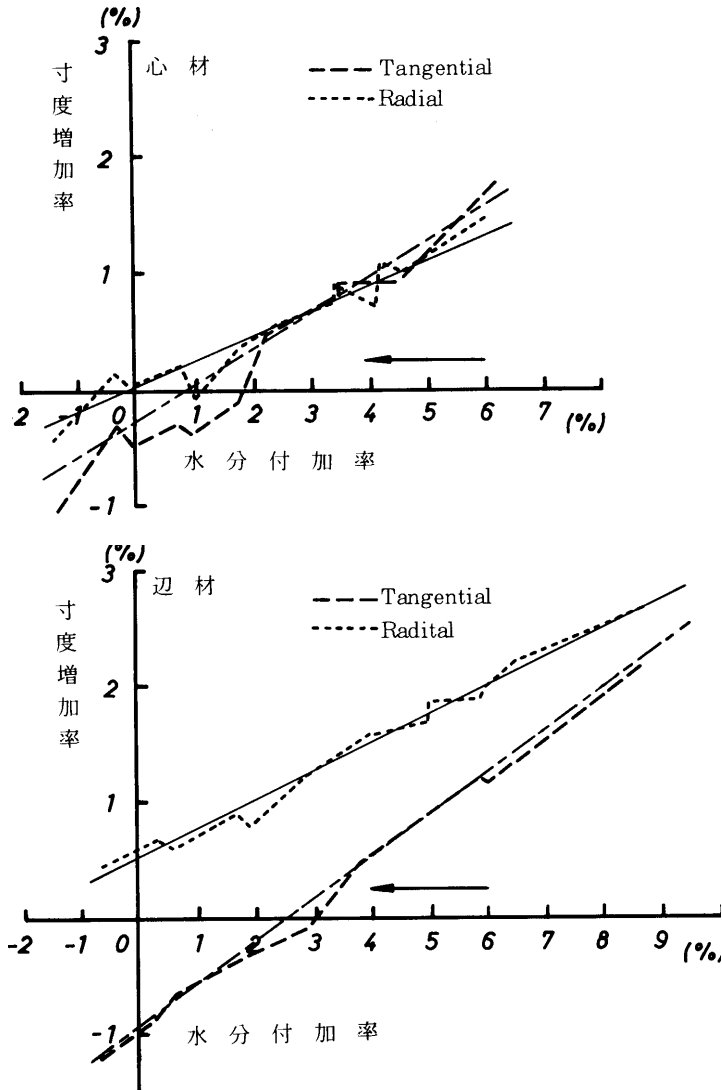
20 -85% R . H . の恒温恒湿室に84日間放置した間の、接線 (板目幅) 方向と半径 (積層厚) 方向の寸度の変化率を第7図に示す。図は含水率約8%の試料LVLが吸着付加した水分に対してプロットしている。寸度増加率は付加水分に良好に比例しており、その勾配はいわゆる平均膨脹率に対応する。平均膨脹率は辺材LVLが心材LVLより大きい。接線方向と半径方向の膨脹率の大小関係は心材と辺材で大きく異なる。すなわち、膨脹率の大きい辺材では、半径方向の方が接線方向より20%ほど大きい。これに反して、心材LVLでは半径方向は接線方向より15%ほど小さい。接線方向の平均膨脹率は心材と辺材でほとんど差がない。

放湿による寸度変化は吸湿膨脹

の逆コースをたどらない。つまり、平均収縮率は接線方向では平均膨脹率より大きくなり、半径方向では平均膨脹率より小さくなる。この傾向は辺材LVLにお

第5表 カラマツLVLの平均膨脹・収縮率 (寸度パーセント/水分パーセント)

		平均膨脹率	平均収縮率
心 材	接線方向	0.28	0.31
	半径方向	0.24	0.22
辺 材	接線方向	0.29	0.35
	半径方向	0.35	0.25



第8図 カラマツLVL水分付加率と寸度増加率 放湿過程 (20 -65% R . H . から温湿度調整なしの実験室へ)

いてとくに強く現れる。つまり、試料LVLを一たん十分に吸湿させて、しかるのち乾燥させて元にもどす場合を考えると、心材の場合は接線方向の寸度が元より僅か小さくなるが、辺材の場合は少なからず短くなり、半径方向は元より長くなる。とくに、半径方向(積層厚方向)の不可逆膨脹は利用設計上重要な意味あいを持つと考えられる(第8図)。

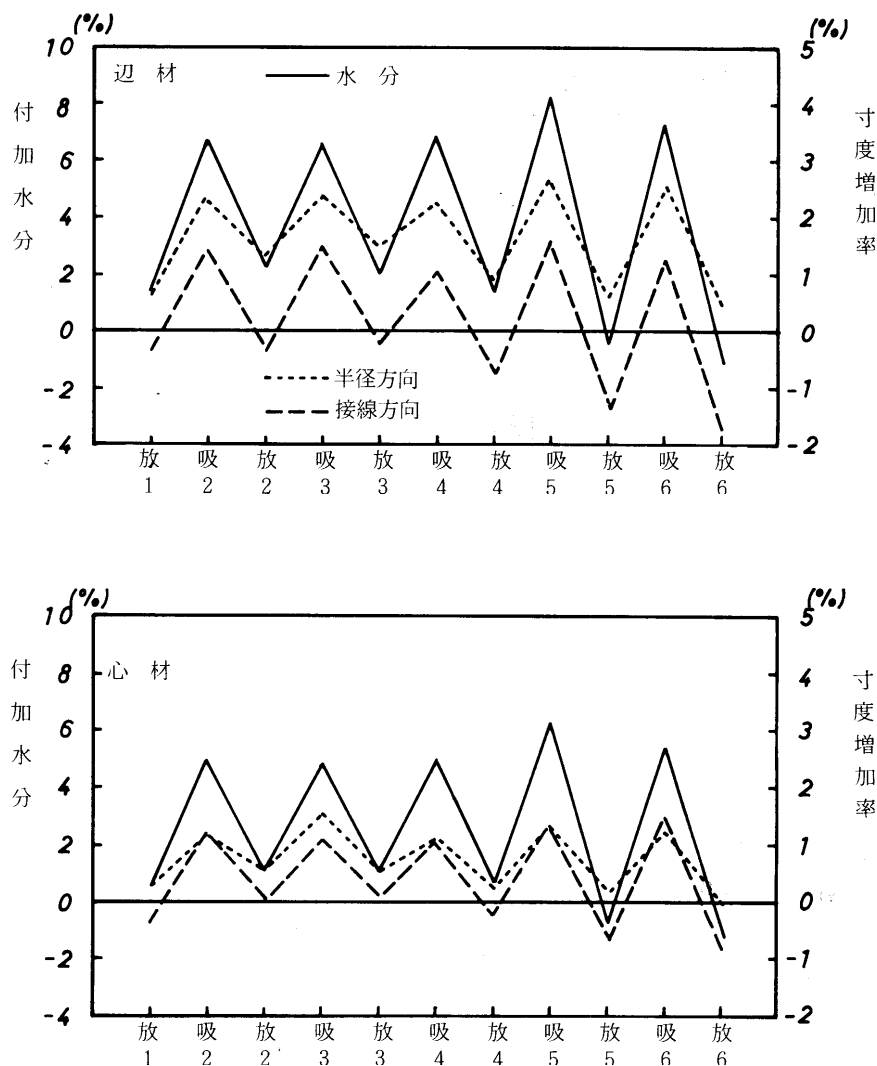
4.3 吸湿・放湿の繰り返しによる吸・放湿性の変化と膨脹・収縮性の変化

前項までの;吸湿-放湿-吸湿の過程の試験により、吸湿-放湿の繰り返しによって

- 1) 吸湿・放湿の速度が増加する。
- 2) 水分1%の変化に対応する寸度の変化は、接線方向の場合は放湿時の方が大きく、半径方向では吸湿時の方が大きい。

の2点が観察された。

これらの傾向から、吸湿-放湿を多数繰り返すことにより、接線方向は順次寸度を低下し、半径方向は寸



第9図 吸湿-放湿の繰り返しによる付加水分の変化と寸度の変化
 水分, 寸度基準値: 第1回吸湿前の重量・寸度
 吸湿条件: 20 - 85% R. H. の恒温恒湿室に1カ月放置
 放湿条件: 温・湿度無調整の室内に1カ月放置

度を増加して行くことが予想される。そこで、以後、試料LVLを温湿度調整のない室内の南向の窓際に1カ月と20 - 85% R. H. の恒温恒湿室に1カ月、交互に放置し、各サイクルごとの水分と寸度の変化を追った。

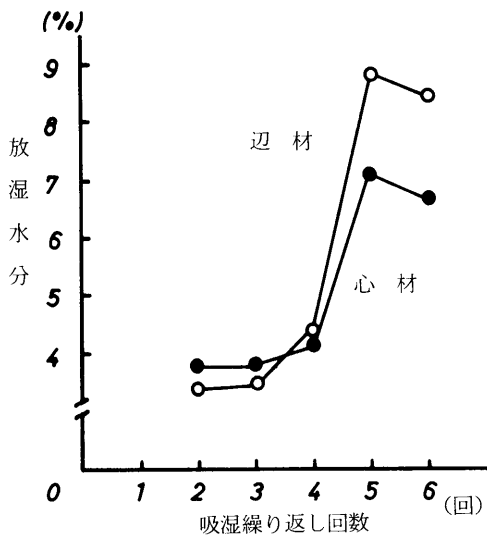
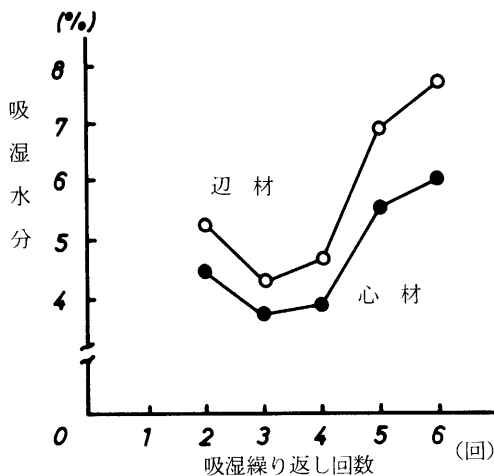
第9図に見るごとく、各サイクルで心材は辺材に比して水分付加が少なく、寸度変化が少ない。また、接線方向と半径方向の差が小さく、乾一湿による振幅も水分、寸度ともに辺材の方が大きい。

吸湿一放湿を多数回繰り返すうちに、辺材心材とも

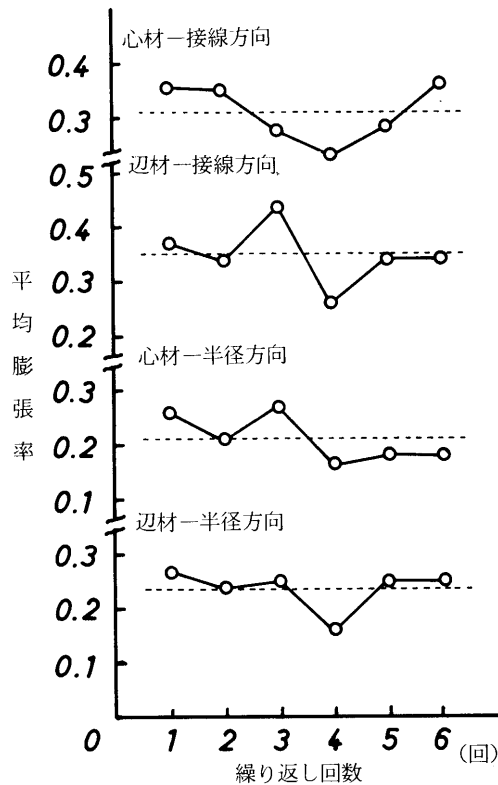
に吸湿性が高まるように見えるが、或る限界があるようであり、辺材と心材の吸湿性の差は縮まることがないように見られる。放湿性に関してもやはり、繰り返しが多くなると辺材心材ともに放湿性が高くなるが、これも或る限界を持つようである。また繰り返しの少ない段階では辺材と心材でほとんど差がないが、繰り返しを重ねるうちに辺材の放湿性は心材より高くなる(第10図)。

吸湿一放湿を繰り返すうちに、吸湿性と放湿性が或る程度まで高まって行く傾向を認めたと、これは吸湿一放湿を繰り返す間に単板の裏われが開いたり、新しい「割れ」、「裂け」の発生によって比表面積が増加することによるものであろうが、これらの外に木材質の質的なものにまで変化が及ぶとすれば、単位量の水分が寸度に与える影響が変わってくる。

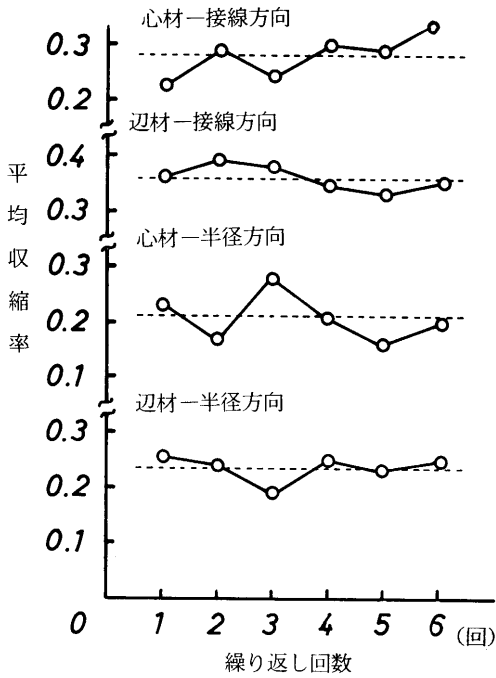
吸湿から放湿へ、放湿から吸湿へ、それぞれ状態が



第10図 吸湿一放湿の繰り返しによる吸・放湿水分の増加傾向



第11図 吸湿一放湿の繰り返しと平均膨張率 (寸度パーセント/水分パーセント)



第12図 吸湿-放湿の繰り返しと平均収縮率 (寸度パーセント/水分パーセント)

変化する間において、水分の変化と同時に寸度の変化がある。それぞれの寸度の変化を水分の変化をベースにして表示したものが第11・12図の平均膨脹率と平均収縮率であるが、いずれも繰り返し数6回までの段階では一定の傾向を認めることができなかった。つまり、この6回の吸湿-放湿繰り返しの範囲内では、平均膨脹率と平均収縮率の変化は一定の平均値のまわりのバラツキの範囲内にあると見る方が妥当であり、このように仮定すると繰り返しによる寸度の増加、減少は一義的に吸・放湿性の変化に起因していることが妥当であろう。

5. まとめ

カラマツLVLについて吸・放湿性とそれに対応する寸度との関係が明瞭となれば、LVLの実用上のトラブルは大いに軽減され、応用範囲はより広いものとなるだろう。

今回の実験の結果は以下のようにまとめられる。

1) LVLは吸湿性、放湿性ともに極めて規則性の高

い挙動を示し、吸・放湿速度は水分変化に対して一定の低下率によって変化する「減率域」と一定の速度によって吸・放湿を行う「恒率域」の2つの段階によって区分されることが明らかになった。

- 2) 減率域において吸・放湿速度の水分状態に対する変化率(K)は、温・湿度環境が一定ならば材料による差はなく、ほぼ一定の値を示し、辺材LVLと心材LVLがほとんど同じ値を示した。
- 3) 辺・心材の吸・放湿速度の違いは吸湿の場合、初期吸湿速度(R_0)、放湿の場合、恒率放湿速度(R_c)によって決定的である。
- 4) 吸湿水分1%当たりの寸度増加率(平均膨脹率)は辺材の方が心材より大きい。辺材では半径方向の方が接線方向より20%ほど大きく、心材では半径方向は接線方向より15%ほど小さい。接線方向の平均膨脹率は心材と辺材で大きな差はない。
- 5) 放湿による平均収縮率は接線方向では平均膨脹率より大きくなり、半径方向では平均膨脹率より小さくなる。この傾向は辺材LVLにおいて特に強く現れる。
- 6) 吸湿と放湿を繰り返した場合、吸・放湿水分量は次第に拡大し、収縮量、膨脹率も次第に拡大する傾向は認められるが、6回までの繰り返しの範囲では単位量の吸・放湿水分が与える膨脹・収縮量には拡大を認められない。
- 7) 恒率域-減率域の臨界含水率(W_c)、恒率吸・放湿速度(R_c)、初期吸湿速度(R_0)については、そのバラツキの範囲とこれを決定する要因について更に検討を要する。

文献

- 1) 大山義年; 化学工学, 岩波全書(1963)

試験部 複合材試験科

*池田林務署

(前試験部合板試験科)

*試験部 合板試験科

(原稿受理 59.7.23)